

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 05 JUN 2003	
PO	PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 19 822.5

Anmeldetag: 03. Mai 2002

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur sensorreduzierten
Regelung einer permanentmagneterregten Syn-
chronmaschine

IPC: M 02 P, G 01 P, G 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 21. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Walner



19.03.2002 E/h

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5 Verfahren und Vorrichtung zur sensorreduzierten Regelung
einer permanentmagneterregten Synchronmaschine

Zusammenfassung

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung
zur feldorientierten Regelung einer permanentmagneterreg-
te Synchronmaschine. Aus einem ermittelten Querstrom-
Sollwert und einer Information über die Drehzahl wird un-
ter Verwendung eines stationären Maschinenmodells in ei-
nem Entkopplungsnetzwerk eine Längsspannungskomponente
15 und eine Querspannungskomponente der Steuerspannung für
die Synchronmaschine ermittelt. Diese Spannungskomponen-
ten werden in Ansteuerimpulse für die Synchronmaschine
umgewandelt. Gemäß der Erfindung benötigt das Regelungs-
20 system keine Informationen über die Phasenströme des
Mehrphasen-Drehstromsystems.

Fig. 1

1/3

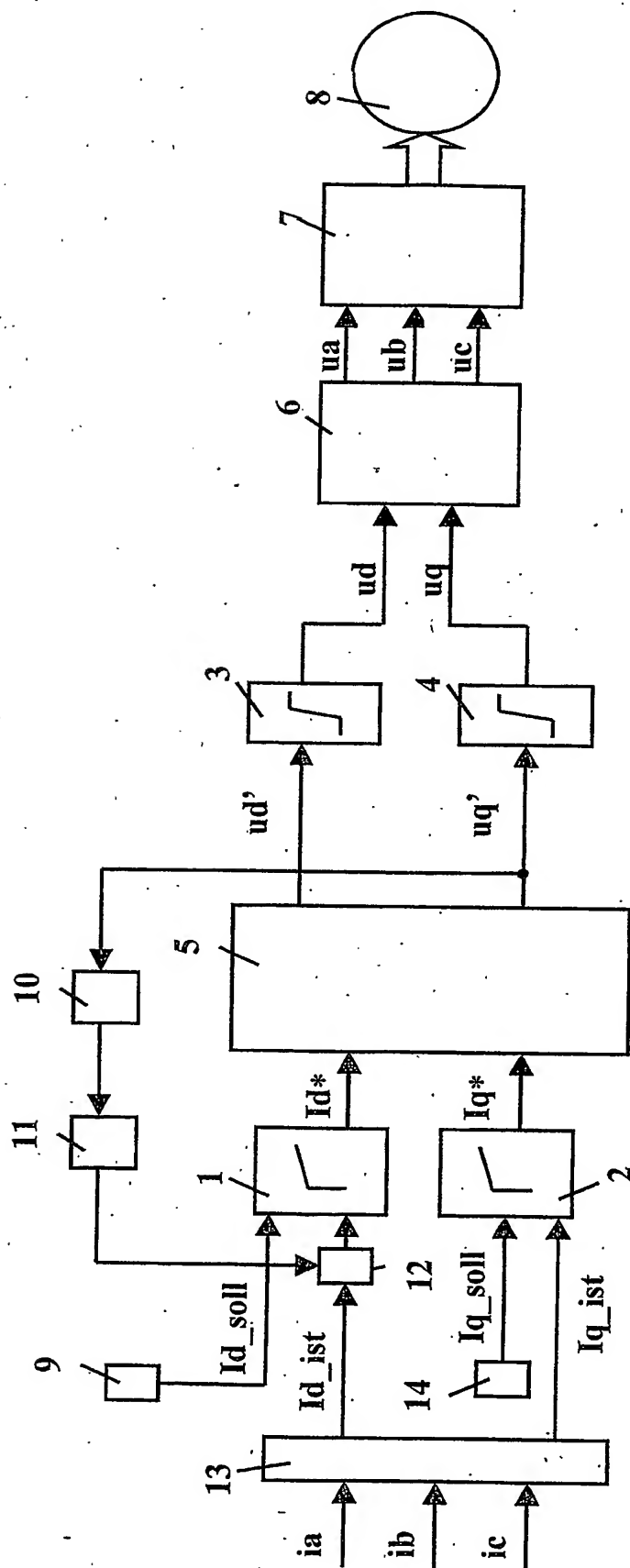


FIG. 1

19.03.2002 E/h

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart /

5

Verfahren und Vorrichtung zur sensorreduzierten Regelung
einer permanentmagneterregten Synchronmaschine /

Stand der Technik

10

In der Kraftfahrzeugtechnik ist es bereits bekannt, in den Antriebsstrang eines Fahrzeugs zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Getriebe eine permanentmagneterregte Synchronmaschine (PM-Synchronmaschine) als integrierten Kurbelwellenstartergenerator einzubauen.

15

Die Regelung einer derartigen PM-Synchronmaschine erfolgt im rotorfeldorientierten Koordinatensystem. Ein Beispiel für eine feldorientierte Stromregelung einer PM-Synchronmaschine mit Pulswechselrichter ist in der Figur 1 gezeigt. Sie beruht auf einer Istwertmessung der Phasenströme eines 3-Phasen-Drehstromsystems und einer auf den gemessenen Istwerten beruhenden Ermittlung einer Längs- und einer Querkomponente der Regelspannung bezüglich der Rotorlage. Der Querstrom ist dabei proportional zum gewünschten Drehmoment.

25

Bei dieser Regelung werden die aus dem 3-Phasen-Drehstromsystem der PM-Maschine abgeleiteten Phasenströme i_a , i_b , i_c in einem Park-Transformator 13 in die Ströme I_{d_ist} und I_{q_ist} eines rechtwinkligen Koordinatensystems umgewandelt. Der Strom I_{d_ist} stellt dabei den Istwert für den Längsstrom der Maschine dar. Der Strom I_{q_ist} bezeichnet den Istwert für den Querstrom der Maschine.

30

35

Der Längsstrom-Istwert I_{d_ist} wird über ein Überlagerungsglied 12 einem Längsstromregler 1 zugeführt, der Querstrom-Istwert I_{q_ist} als Istwert einem Querstromreg-

ler 2. Das Überlagerungsglied 12 erhält als weiteres Eingangssignal ein Rückkopplungssignal, welches aus der Ausgangsgröße u_q' eines stationären Entkopplungsnetzwerks 5 erhalten wird. Das stationäre Entkopplungsnetzwerk 5 erfüllt neben der für die Regelung wichtigen Entkopplung auch noch die Aufgabe, in Zusammenarbeit mit den Ausgangsbegrenzern 3 und 4 und einem Anti-Windup-Verfahren am Längsstromregler 1 eine Feldschwächung im oberen Drehzahlbereich zu erzielen. Diese Feldschwächung der PM-Synchronmaschine bei höheren Drehzahlen ist erforderlich, weil sonst die induzierte Maschinenspannung größer wäre als die maximale Stromrichterausgangsspannung. Letztere ist durch die Versorgungsspannung, bei der es sich um die Bordnetzspannung des Kraftfahrzeugs handelt, begrenzt. Bei diesem Feldschwächbetrieb wird der Stromrichter im übersteuerten Zustand betrieben, so dass die Stromrichterausgangsspannung nicht mehr sinusförmig ist.

Dem Sollwerteingang des Längsstromreglers 1 wird ein von einem Längsstrom-Sollwertgeber 9 generiertes Sollwertsignal und dem Sollwerteingang des Querstromreglers 2 ein von einem Querstrom-Sollwertgeber 14 generiertes Sollwertsignal zugeführt. Der Querstrom-Sollwertgeber 14 generiert das Querstrom-Sollwertsignal in Abhängigkeit vom Ausgangssignal eines Batteriespannungssensors.

Am Ausgang des Längsstromreglers 1 wird eine Stellgröße I_d^* für den Längsstrom und am Ausgang des Querstromreglers 2 eine Stellgröße I_q^* für den Querstrom zur Verfügung gestellt. Diese Stellgrößen werden dem stationären Entkopplungsnetzwerk 5 zugeführt, welches unter Verwendung der genannten Stellgrößen eine Längsspannungskomponente u_d' und eine Querspannungskomponente u_q' für die Regelspannung der PM-Synchronmaschine ermittelt.

Diese Regelspannungskomponenten u_d' und u_q' , bei denen es sich um Regelspannungskomponenten im rechtwinkligen Koordinatensystem handelt, werden über die Ausgangsbegrenzer

3 bzw. 4 einem inversen Park-Transformator 6 zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, die im rechtwinkligen Koordinatensystem vorliegenden begrenzten Regelspannungskomponenten u_d und u_q in Regelspannungskomponenten u_a , u_b und u_c des 3-Phasen-Drehstromsystems umzuwandeln. Diese werden in einem Pulswechselrichter 7 in Ansteuerimpulse für die PM-Synchronmaschine 8 umgewandelt.

Die am Ausgang des stationären Entkopplungsnetzwerks 5 ausgegebene Querspannungskomponente u_q' der Regelspannung wird dem Betragsbildner 10 zugeführt, welcher den Betrag $|u_q'|$ der genannten Querspannungskomponente ermittelt.

Das Ausgangssignal des Betragsbildners 10 wird als Eingangssignal für einen Schwellwertschalter 11 verwendet. Überschreitet der Betrag $|u_q'|$ einen vorgegebenen Schwellenwert, dann wird am Ausgang des Schwellwertschalters 11 der Wert 0 ausgegeben. Unterschreitet der Betrag $|u_q'|$ den vorgegebenen Schwellenwert, dann wird am Ausgang des Schwellwertschalters 11 der Wert 1 ausgegeben.

Ausführungsbeispiele für die Ausgestaltung eines Entkopplungsnetzwerks, in welchem ein stationäres Maschinenmodell abgelegt ist, sind in der DE 100 44 181.5 der Anmelderin beschrieben.

Aus der DE 100 23 908 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung der Polradlage einer elektrischen Maschine bekannt, bei der es sich beispielsweise um einen Drehstromgenerator mit Pulswechselrichter handelt, wobei weiterhin eine Läuferwicklung, ein mit Induktivitäten versehener Ständer und eine zwischen zwei Strangklemmen angeordnete Spannungsquelle vorgesehen sind. Bei diesem Verfahren kann unter Verwendung von Schaltelementen in zwei Stränge verzweigt werden, in denen die jeweiligen Strangspannungsverläufe gemessen werden. Deren Überlagerung ermöglicht eine eindeutige Bestimmung der Polradlage. Beim bekannten

Verfahren sind die Läuferpositionen für jeden der Spannungsverläufe tabellarisch abgelegt.

Weiterhin ist in der Zeitschrift ETEP, Vol. 8, No. 3, May/June 1998, Seiten 157 - 166, eine permanentmagneterregte Synchronmaschine mit Feldschwächbetrieb beschrieben, bei welcher ein großes Verhältnis von Maximal- zu Grundgeschwindigkeit vorliegt. Dies wird durch eine zusätzliche negative D-Komponente des Statorstromes erreicht. Im Rahmen der Regelung der bekannten Synchronmaschine wird eine Messung der Rotorposition unter Verwendung der Ausgangssignale von drei Hall-Sensoren durchgeführt, wobei ein Hall-Sensor jeweils einer der Phasen U, V, W zugeordnet ist.

Vorteile der Erfindung

Durch die Erfindung wird ein sensorreduziertes Regelungssystem zur Verfügung gestellt, welches keine Stromsensorik bzw. keine Strommessung benötigt. Es erfolgt lediglich eine Messung der Batterieistspannung und des Polrad- bzw. Lagewinkels, wobei aus letzterem durch ein Differenzieren der Lageinformation nach der Zeit auch Informationen über die Drehzahl abgeleitet werden.

Im Generatorbetrieb der PM-Synchronmaschine treten im Vergleich zu konventionellen feldorientierten Regelungssystemen keinerlei Performanceeinbußen auf.

Da PM-Synchronmaschinen als Kurbelwellenstartergeneratoren einsetzbar sind und dort im Sinne einer Hochstromanwendung zum Einsatz kommen, ist das Wegfallen der Notwendigkeit einer Stromsensorik von großem Vorteil, da die erforderliche Stromsensorik bei Hochstromanwendungen besonders aufwendig ist.

Zeichnung

Die beiliegenden Figuren dienen der beispielhaften Erläuterung der Erfindung. Die Figur 1 zeigt ein Blockschaltbild einer herkömmlichen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine. Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine. Die Figur 3 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Stromgrundschwingungsfrequenz von der Drehzahl. Die Figur 4 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung des maximalen Winkelfehlers in Abhängigkeit von der Drehzahl.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen feldorientierten Stromregelung einer PM-Synchronmaschine 8. Bei dieser Regelung ist es nicht notwendig, aus dem Mehrphasen-Drehstromsystem der PM-Maschine Phasenströme abzuleiten und mittels eines Park-Transformators in den Längsstrom-Istwert und den Querstrom-Istwert eines rechtwinkligen Koordinatensystems umzuwandeln.

Die in der Figur 2 dargestellte Vorrichtung weist eine Logikeinheit 18 auf, die an ihrem Ausgang einen Sollwert I_{q_soll} für den Querstrom zur Verfügung stellt. Weiterhin ist die Logikeinheit 18 mit mehreren Eingängen versehen. Ein erster Eingang der Logikeinheit 18 ist mit einem übergeordneten Steuergerät 14 verbunden. Ein zweiter Eingang der Logikeinheit 18 ist an den Ausgang eines Batteriespannungsreglers 17 angeschlossen. Dem dritten Eingang der Logikeinheit 18 wird eine Information über die Drehzahl n der Maschine zugeleitet.

Der Batteriespannungsregler 17 ist eingangsseitig mit einem Batteriespannungssollwertgeber 15 und einem Batterie-

spannungssensor 16 verbunden. Der Batteriespannungssollwertgeber 15, beispielsweise ein übergeordnetes Energiemanagement, liefert dem Batteriespannungsregler 17 die Batteriesollspannung U_{Bs} . Der Batteriespannungssensor 16 ist zur Messung der Batterieistspannung U_{BI} vorgesehen. Die Batterieistspannung wird beispielsweise an einem nichtgezeichneten Zwischenkreiskondensator abgegriffen.

Der Startvorgang verläuft wie folgt: Vom übergeordneten Steuergerät 14 kommt ein Startbefehl, welcher eine Information über das Solldrehmoment M_{soll} enthält. Aus diesem wird in der Logikeinheit 18 der Querstrom-Sollwert I_{q_soll} abgeleitet. Der Querstrom-Sollwert I_{q_soll} wird dem stationären Entkopplungsnetzwerk 19 zugeführt, welches ein stationäres Maschinenmodell enthält. In diesem Entkopplungsnetzwerk wird der Querstrom-Sollwert mit Einbeziehung der Drehzahl n und des abgespeicherten Maschinenmodells in eine Längsspannungskomponente u_d und eine Querspannungskomponente u_q der Regelspannung umgesetzt. Dabei wird von einer abgespeicherten Tabelle Gebrauch gemacht, in welcher Maschinenparameter berücksichtigt sind. Je nach Genauigkeit des Maschinenmodells treten bei dieser Umsetzung mehr oder weniger große Einbußen an Performance auf.

25

Ab einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert, der beispielsweise bei 500 Umdrehungen pro Minute liegt, führt die Umschaltlogik 18 einen Umschaltvorgang durch, aufgrund dessen nunmehr das Ausgangssignal I_{dc_soll} des Batteriespannungsreglers 17 als Querstrom-Sollwert I_{q_soll} an das Entkopplungsnetzwerk 19 weitergeleitet wird. In diesem wird der Querstrom-Sollwert mit Einbeziehung der Drehzahl n in eine Längsspannungskomponente u_d und eine Querspannungskomponente u_q der Regelspannung umgesetzt. Auch dabei wird von der abgespeicherten Tabelle Gebrauch gemacht, in welcher Maschinenparameter berücksichtigt sind. Ungenauigkeiten im Maschinenmodell werden durch die

übergeordnete Spannungsregelung kompensiert und führen im Generatorbetrieb zu keinem Wirkungsgradverlust.

Die mittels des stationären Maschinenmodells ermittelten Spannungskomponenten u_d und u_q , bei denen es sich um Regelspannungskomponenten im rechtwinkligen Koordinatensystem handelt, werden einem inversen Park-Transformator 6 zugeführt. Dieser hat die Aufgabe, die im rechtwinkligen Koordinatensystem vorliegenden Regelspannungskomponenten u_d und u_q unter Berücksichtigung des Polradwinkels γ , der von einem Lagegeber 24 ermittelt wird, in Regelspannungskomponenten u_a , u_b und u_c des 3-Phasen-Drehstromsystems umzuwandeln. Diese werden an einen Pulswechselrichter 7 weitergeleitet, welcher an seinem Ausgang Ansteuerimpulse für die PM-Synchronmaschine 8 zur Verfügung stellt. Der Ausgang des Pulswechselrichters 7 ist über eine Schalteinheit 23 mit der zu steuernden PM-Maschine 8 verbunden.

Die Spannungskomponenten u_d und u_q werden weiterhin einer Recheneinheit 20 zugeführt, die aus diesen Spannungskomponenten den Sollwinkel ε zwischen der Rotorpolachse und dem Soll-Statorspannungsraumzeiger ermittelt. Dies geschieht gemäß der folgenden Beziehung:

$$\varepsilon = \arctan \frac{u_d}{u_q}$$

Da bei der feldorientierten Regelung Gleichgrößen mit einer über den gesamten Regelbereich gleichen Zeitkonstante geregelt werden, arbeitet die Recheneinheit 20 mit der gleichen Taktfrequenz wie die Regelung.

Das Ausgangssignal der Recheneinheit 20 wird einem Blockschaltwerk 21 zugeführt, welches direkt vom Polradwinkel γ getaktet wird. Informationen über den Polradwinkel werden - wie bereits oben ausgeführt wurde - beispielsweise mittels eines Lagegebers 24 gewonnen. Das Blockschaltwerk 21, dessen Ausgangssignal ebenfalls der Umschaltlogik 23

zugeführt wird, dient zur Auswahl von Ansteuerimpulsen gemäß eines von sechs möglichen Schaltzuständen des Stromrichters.

- 5 Anstelle eines Blockschaltwerkes kann auch ein dem Blockschaltwerk funktionell entsprechendes Softwareprogramm verwendet werden.

- 10 In der Umschaltlogik 23 erfolgt eine Umschaltung in dem Sinne, dass entweder die im Pulswechselrichter 7 oder die im Blockschaltwerk 21 generierten Ansteuerimpulse an die PM-Maschine 8 weitergeleitet werden. Diese Umschaltung erfolgt in Abhängigkeit von der Drehzahl n unter Berücksichtigung einer einstellbaren Schalthysterese, die mittels der Hystereseschaltung 22 realisiert wird. Der Hysteresebereich liegt beispielsweise zwischen 800 und 1000 Umdrehungen pro Minute.

- 20 Mit einer derartigen Ansteuerung wird ein ruckfreier Übergang vom Pulswechselrichterbetrieb, in welchem die Ausgangssignale des Schaltungsblockes 7 über die Umschaltlogik 23 an die PM-Maschine 8 weitergeleitet werden, in den Blockbetrieb, in welchem die Ausgangssignale des Blockschaltwerks 21 über die Umschaltlogik 23 an die PM-Maschine 8 weitergeleitet werden, sichergestellt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für den gesamten Drehzahlbereich dieselbe Reglerstruktur verwendet wird und dass bei der Umschaltdrehzahl das Ausgangssignal des Blockschaltwerks 21 gleich dem Ausgangssignal des Pulswechselrichters 7 ist, wobei das Ausgangssignal des Pulswechselrichters 7 mit einer statistischen Winkelungenauigkeit bzw. einem Jitter behaftet ist, welcher mit steigender Drehzahl größer wird und zu unerwünschten Leistungsspendelungen im oberen Drehzahlbereich führt.

35

Der vorstehend beschriebene Übergang vom Pulswechselrichterbetrieb in den Blockbetrieb wird vorgenommen, um

diese unerwünschten Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich zu vermeiden.

Diese beim Stand der Technik auftretenden Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich beruhen darauf, dass die Schaltfrequenz des Pulswechselrichters bzw. PWM-Umrichters im Hinblick auf auftretende Verluste nicht zu groß gewählt werden darf. Für den Anwendungsfall in einem Kurbelwellenstartergenerator wird deshalb mit einer PWM-Frequenz von beispielsweise 8 kHz gearbeitet. Der Zusammenhang zwischen der Drehzahl und der Stromgrundschnungsfrequenz lautet wie folgt:

$$f = \frac{n}{60} \cdot p$$

15

Für den Drehzahlbereich eines $2 \cdot p = 24$ -poligen Kurbelwellenstartergenerators, dessen Drehzahlbereich zwischen 0 und 6500 Umdrehungen pro Minute liegt, ist damit ein Frequenzbereich von 0 - 1300 Hertz erforderlich. Dies ist in der Figur 3 gezeigt, welche ein Diagramm zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Stromgrundschnungsfrequenz von der Drehzahl zeigt. In diesem Diagramm ist auf der Abszisse die Drehzahl n in Umdrehungen pro Minute und auf der Ordinate die Frequenz f in Hertz aufgetragen.

25

Da über den gesamten Betriebsbereich eine PWM-Frequenz von 8 kHz vorliegt, ergibt sich aufgrund des Verhältnisses von Stromgrundschnung zu Pulsfrequenz eine Winkelungenauigkeit bezüglich des Soll-Spannungsnulldurchgangs und des tatsächlich geschalteten Spannungsnulldurchgangs. Dies ist in der Figur 4 gezeigt, welche für eine PWM-Frequenz von 8 kHz ein Diagramm zur Veranschaulichung des maximalen Winkelfehlers bezogen auf den Soll-Spannungsnulldurchgang in Abhängigkeit von der Drehzahl zeigt. In diesem Diagramm ist auf der Abszisse die Dreh-

35

zahl n in Umdrehungen pro Minute und auf der Ordinate der Winkel-Fehler WF in Grad aufgetragen.

Diese statistische Ungenauigkeit bzw. dieser Jitter führt zu unerwünschten Leistungspendelungen im oberen Drehzahlbereich. Um diese statistische Ungenauigkeit zu vermeiden, erfolgt gemäß dem oben anhand der Figur 2 beschriebenen Ausführungsbeispiel eine drehzahlabhängige Umschaltung bzw. ein drehzahlabhängiger Übergang von einem PWM-Betrieb in einen Blockbetrieb. Alternativ dazu könnten die genannten Leistungspendelungen auch durch eine Erhöhung der PWM-Frequenzen, beispielsweise auf Schaltfrequenzen bis zu 90 kHz, vermieden werden. Dies ist aber wegen hoher Schaltverluste und wegen des hohen Stromrichteraufwandes nicht sinnvoll.

Weitere Vorteile des in der Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiels bestehen darin, dass nur eine geringe zusätzliche Prozessorbelastung vorliegt, da die Recheneinheit 20 drehzahlunabhängig mit der konstanten Regelfrequenz arbeiten kann. Im Falle eines PWM-Betriebes über den gesamten Regelbereich müsste die PWM-Frequenz und damit die Frequenz für die inverse Park-Transformation mit der Drehzahl erhöht werden, was eine große Prozessorbelastung zur Folge hätte.

Weiterhin ist die Schaltfrequenz des Stromrichters klein. Damit verbunden sind niedrige Schaltverluste des Stromrichters.

Ferner werden die auf eine PWM-Taktung zurückzuführenden Winkelungenauigkeiten eliminiert und damit auch die auf diese zurückzuführenden unerwünschten Leistungspendelungen. Die Winkelgenauigkeit hängt nur vom Lagegeber selbst ab.

Bezugszeichenliste

	1	Längsstromregler
5	2	Querstromregler
	3	Begrenzer
	4	Begrenzer
	5	Entkopplungsnetzwerk
	6	Inverser Park-Transformator
10	7	Pulswechselrichter
	8	PM-Synchronmaschine
	9	Längsstrom-Sollwertgeber
	10	Betragsbildner
	11	Schwellwertschalter
15	12	Überlagerungsglied
	13	Park-Transformator
	14	übergeordnete Steuerung (Motorsteuergerät)
	15	Batteriespannungs-Sollwertgeber
	16	Batteriespannungssensor
20	17	Batteriespannungsregler
	18	Logikeinheit
	19	Entkopplungsnetzwerk mit stationärem Maschinenmodell
	20	Recheneinheit
25	21	Blockschaltwerk
	22	Hystereseschaltung
	23	Umschaltlogik
	24	Lagegeber für Polradwinkel
	ia, ib, ic	Phasenströme aus dem 3-Phasen-Drehstromsystem
30	Id_ist	Längsstrom-Istwert
	Id_soll	Längsstrom-Sollwert
	Iq_ist	Querstrom-Istwert
	Iq_soll	Querstrom-Sollwert
	Id*	Stellgröße für den Längsstrom
35	I _{dc} _soll	Querstrom-Sollwert vom Batteriespannungsregler
	Iq*	Stellgröße für den Querstrom
	M_soll	Solldrehmoment
	n	Drehzahl

ua, ub, uc Regelspannungen für das 3-Phasen-Drehstromsystem

U_{BS} Batteriespannungs-Sollwert

U_{BI} Batteriespannungs-Istwert

5 u_d, u_d' Längskomponenten der Regelspannung

u_q, u_q' Querkomponenten der Regelspannung

WF Winkelfehler

ε Sollwinkel

γ Polradwinkel

19.03.2002. E/h

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5 Patentansprüche

1. Verfahren zur feldorientierten Regelung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit folgenden Verfahrensschritten:

- 10 - Ermittlung eines Querstrom-Sollwertes (I_{q_soll}),
- Zuführen des ermittelten Querstrom-Sollwertes und einer Information über die Drehzahl an ein stationäres Maschinenmodell enthaltendes Entkopplungsnetzwerk,
- 15 - Ermittlung einer Längsspannungskomponente (u_d) und einer Querspannungskomponente (u_q) im Entkopplungsnetzwerk in alleiniger Abhängigkeit vom Querstrom-Sollwert, der Information über die Drehzahl und dem stationären Maschinenmodell, und
- 20 - Umwandlung der Längsspannungskomponente (u_d) und der Querspannungskomponente (u_q) in Ansteuerimpulse für die Synchronmaschine.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

25 zeichnet, dass der Querstrom-Sollwert in einer Logikeinheit ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Logikeinheit in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert ein Umschaltvorgang durchgeführt wird.

30

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Drehzahlen, die kleiner sind als

35 der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, der Querstrom-Sollwert (I_{q_Soll}) von einem übergeordneten Steuergerät (14) abgeleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Querstrom-Sollwert aus einem vom übergeordneten Steuergerät (14) vorgegebenen Soll-Drehmoment abgeleitet wird.
- 5 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Soll-Drehmoment das Start-Drehmoment ist.
- 10 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 - 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei Drehzahlen, die größer sind als der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, der Querstrom-Sollwert (I_{q_soll}) von einem Batteriespannungsregler (17) abgeleitet wird.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Batteriespannungsregler (17) den Querstrom-Sollwert in Abhängigkeit von einem von einem übergeordneten Energiemanagement gelieferten Batteriespannungs-Sollwert und einem von einem Batteriespannungssensor gelieferten Batteriespannungs-Istwert ermittelt.
- 20 9. Vorrichtung zur feldorientierten Regelung einer permanentmagneterregten Synchronmaschine mit
- 25 - einem ein stationäres Maschinenmodell enthaltenden Entkopplungsnetzwerk (19), welches einen Eingang für einen Querstrom-Sollwert (I_{q_soll}) und einen Eingang für eine Information über die Drehzahl aufweist und welches zur
- 30 Ermittlung einer Längsspannungskomponente (u_d) und einer Querspannungskomponente (u_q) in alleiniger Abhängigkeit vom Querstrom-Sollwert, der Information über die Drehzahl und dem stationären Maschinenmodell vorgesehen ist, und
- 35 - eine an das Entkopplungsnetzwerk (19) angeschlossene Umwandlungseinheit (6, 7, 20, 21, 23) zur Umwandlung der ermittelten Längsspannungskomponente (u_d) und der

ermittelten Querspannungskomponente (u_q) in Ansteuerimpulse für die Synchronmaschine.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Logikeinheit (18) enthält, die einen Ausgang für den Querstrom-Sollwert (I_{q_soll}) aufweist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Logikeinheit (18) einen Eingang für eine Information über die Drehzahl aufweist und zur Durchführung eines Umschaltvorganges in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Drehzahlschwellenwert vorgesehen ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Logikeinheit (18) bei Drehzahlen, die kleiner sind als der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, einen von einem übergeordneten Steuergerät (14) abgeleiteten Querstrom-Sollwert an ihrem Ausgang ausgibt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Logikeinheit (18) den Querstrom-Sollwert aus einem vom übergeordneten Steuergerät (14) abgeleiteten Soll-Drehmoment ableitet.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Soll-Drehmoment das Start-Drehmoment ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 - 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Logikeinheit (18) bei Drehzahlen, die größer sind als der vorgegebene Drehzahlschwellenwert, einen von einem Batteriespannungsregler (17) gelieferten Querstrom-Sollwert an ihrem Ausgang ausgibt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Batteriespannungsregler (17) einen Batteriespannungs-Sollwerteingang aufweist, welcher mit einem übergeordneten Energiemanagement (15) verbunden ist, und einen Batteriespannungs-Istwerteingang aufweist, welcher mit einem Batteriespannungssensor (16) verbunden ist.

1/3

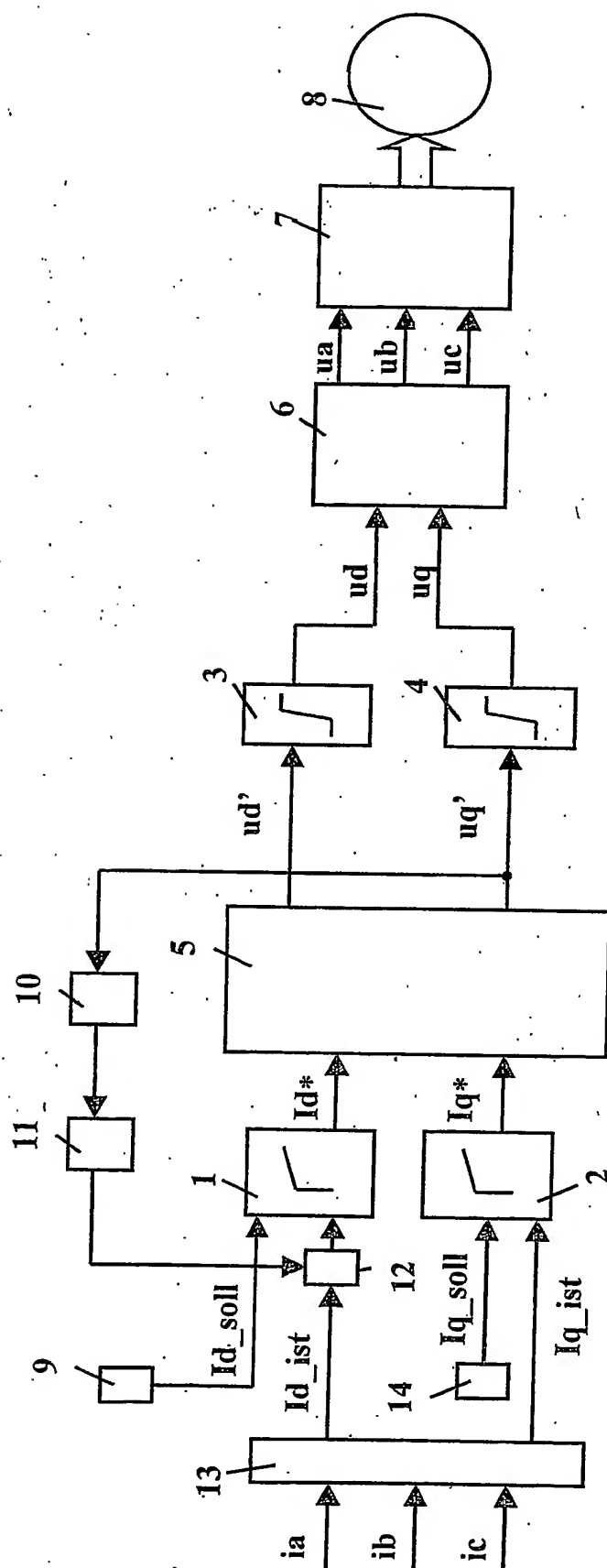


FIG. 1

2/3

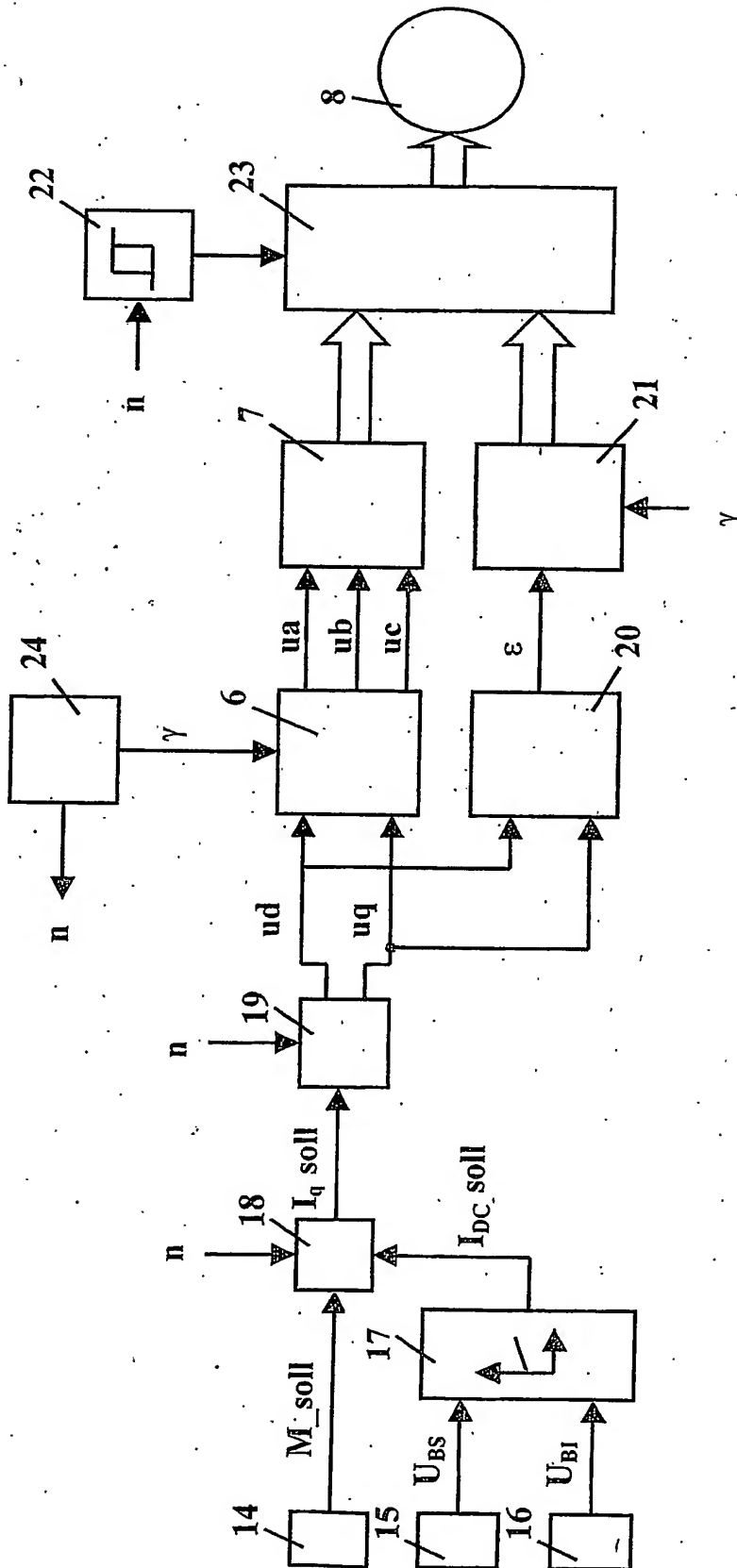
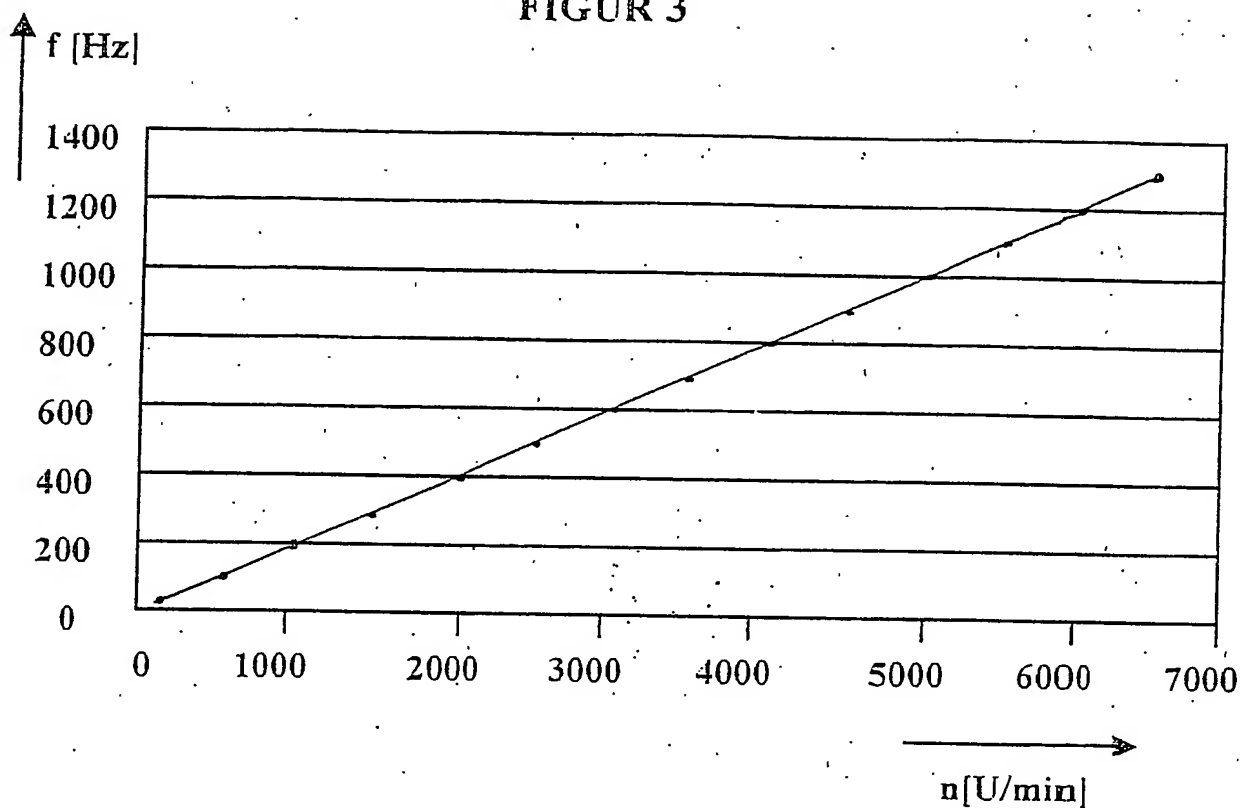


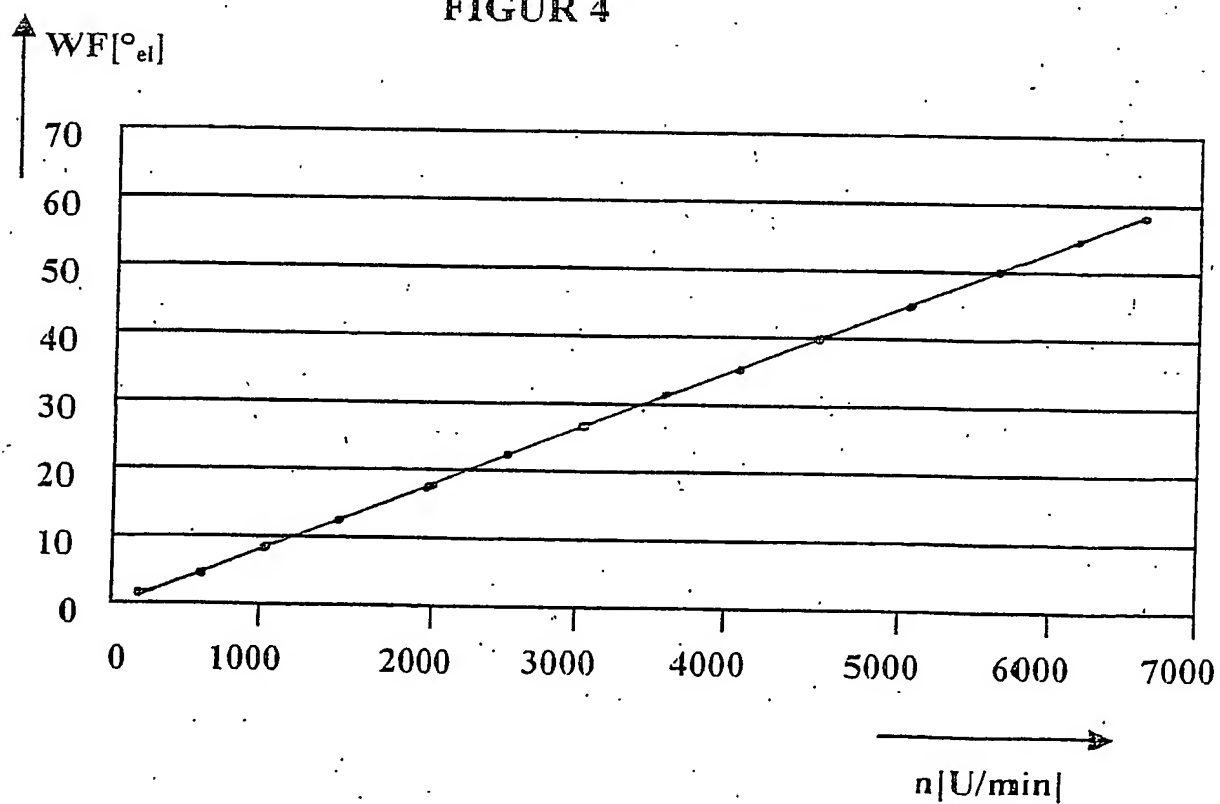
FIG. 2

3/3

FIGUR 3



FIGUR 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.